

双转台五轴数控机床定轴运动学研究

张纪可, 范建新, 屠尉立, 宋明忠, 凌 宏

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 针对一些具有复杂曲面的零件, 采用五轴联动加工存在编程繁琐、加工效率低及刚性差的问题, 提出了五轴定轴加工方法。在分析双转台五轴机床空间运动坐标系的基础上, 通过齐次坐标变换及其逆运算得到机床定轴运动坐标。运用该方法对增压器整体叶轮流道的实际加工显示: 叶轮流道余量均匀, 加工效率提高; 验证了双转台五轴数控机床定轴运动学研究的可行性。

关键词: 双转台五轴数控机床; 定轴加工; 定位坐标系; 齐次坐标变换

中图分类号: TG512 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)02-0041-04

Kinematics Research of Fixed Axis on Five-axis CNC Machine with Dual Rotary Tables

Zhang Jike, Fan Jianxin, Tu Weili, Song Mingzhong, Ling Hong

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: For some parts with complex curved surface, the application of five-axis machining has the problems of cumbersome programming, low efficiency and low rigidity. So the fixed axis machining method is proposed. The machine motion coordinates were obtained through the homogeneous coordinate transformation and inverse operation based on analyzing space motion coordinate systems of the machine with dual rotary tables. The actual machining of tunnel for the supercharger integral impeller has proved uniform allowance and increase of machining efficiency, so the kinematics research of fixed axis on five-axis CNC machine with dual rotary tables is confirmed.

Keywords: five-axis CNC machine with dual rotary tables; fixed axis machining; position coordinate system; homogeneous coordinate transformation

0 引 言

随着数控制造技术的不断发展, 五轴机床的应用日益广泛。一些具有复杂曲面的零部件, 如整体叶轮、弯管等需要五轴机床三个直线轴和两个旋转轴联动加工。但针对一些加工区域敞开性好、倾斜面上孔、面加工内容较多的零件, 五轴联动加工数控编程繁琐、加工效率及刚性也有待提高。采用五轴定轴加工方法可以实现这类零件的高效和高质量加工。

五轴定轴加工是指利用五轴机床加工时, 根据所需加工区域位置把两个旋转轴转到一定角度后, 锁定两个旋转轴, 进行三个直线轴联动加工。当一个区域的加工完成后, 再调整两个旋转轴的角度继续进行加工。由于减少两个旋转轴的转动, 五轴定轴加工增强整体刚性, 可以获得较为理想的刀具直径和进给率, 从而提高加工效率。

本文针对五轴定轴加工, 在定义定位坐标系的基础上, 分析双转台五轴数控机床空间运动坐标系, 并对其进行齐次坐标变换, 再通过齐次变换逆

运算得到机床运动坐标；最后，应用五轴定轴加工方法对增压器整体叶轮流道进行实际加工，验证双转台五轴数控机床定轴运动学研究方法的可行性。

1 定义定位坐标系

定位坐标系 (PCS) 是固定在工件坐标系 (WCS) 中的，其 $+Z_p$ 轴方向指向定轴加工面的法矢量方向。定位坐标系与工件坐标系的关系如图 1 所示。

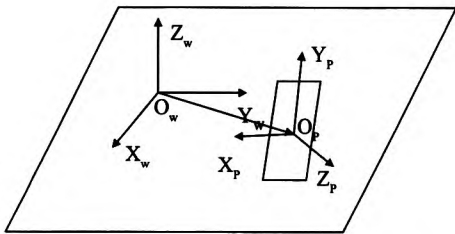


图 1 定位坐标系与工件坐标系的关系

PCS 系是以 WCS 系中一点 $O_w'(x_w', y_w', z_w')$ 为原点平移 WCS 系，然后再将平移后的坐标系绕 X 轴旋转 α ，绕 Y 轴旋转 β ，绕 Z 轴旋转 γ 所得，从 WCS 系到 PCS 系的齐次坐标变换矩阵为 H (WCS→PCS)，如(1)式所示。

$$H(\text{WCS} \rightarrow \text{PCS}) = \text{Rot}(Z, \gamma) \text{Rot}(Y, \beta) \text{Rot}(X, \alpha) \text{Trans}(x_w', y_w', z_w') \quad (1)$$

$$\text{其中, } \text{Rot}(Z, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\text{Rot}(Y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\text{Rot}(X, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\text{Trans}(x_w', y_w', z_w') = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_w' \\ 0 & 1 & 0 & y_w' \\ 0 & 0 & 1 & z_w' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2 双转台机床定轴运动学研究

2.1 机床空间运动坐标系分析

双转台五轴数控机床是一种常见的五轴数控机床，包括三个直线轴和两个旋转轴。本文双转台五

轴数控机床中三个直线轴 (X 轴, Y 轴, Z 轴) 的平移由刀具主轴的平移实现, A 轴的旋转由工作台摆动运动实现, C 轴的旋转由工作台回转运动实现。具体机床空间运动坐标系如图 2 所示。

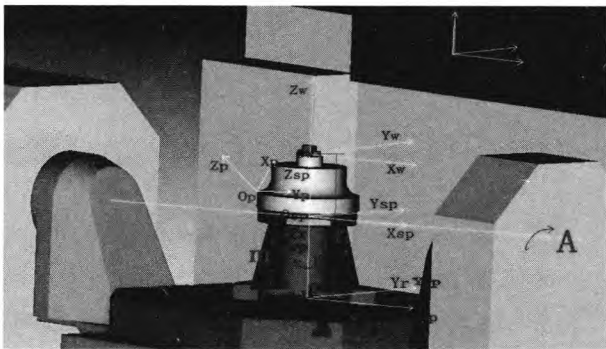


图 2 双转台机床空间运动坐标系

一般在加工前首先要让各坐标轴回零，和对控制系统进行初始化，并将参考坐标系 (RCS) 与机床坐标系 (MCS) 原点之间的偏移量存放在机床常数中；经初始化后，刀具或工件相对于 MCS 系的运动转变为相对于 RCS 系的运动。该机床的 RCS 系原点 O_r 设在转动台表面回转中心处。

设摆动台坐标系 (SPCS) 原点 O_{sp} 在摆动轴线上，各坐标轴方向与 RCS 系一致，其中 $|O_w - O_{sp}| = m$ ，且假定 SPCS 系不随摆动台的摆动而摆动。转动台坐标系 (RPCS) 与 RCS 系重合，其原点 O_r 与点 O_r 重合，各坐标轴方向与 RCS 系一致，且假定 SPCS 系不随转动台的转动而转动但随摆动台的摆动而摆动。为使程序编制简单和方便找正，设定 WCS 系的 $+Z_w$ 轴与 RCS 系的 $+Z_r$ 轴重合，其他轴与 RCS 系各轴一致，其中 $|O_w - O_r| = n$ 。刀具坐标系 (TCS) 的原点 O_t 设在刀位点处，各坐标轴方向与 RCS 系一致。

在定轴加工初始时刻，TCS 系与 WCS 系原点重合，记交点相对于 RCS 系的位置矢量 $\vec{r}_p = [0, 0, n]^T$ 。在 TCS 系中，刀具刀位点位置矢量 $\vec{r}_u = [0, 0, 0]^T$ ，刀轴单位矢量 $\vec{T}_u = [0, 0, 1]^T$ 。在加工任一时刻，记机床三个直线轴相对于 RCS 系的位置矢量 $\vec{r}_q = [x_q, y_q, z_q]^T$ 。摆动轴 A 轴和转动轴 C 轴相对于加工初始时刻分别旋转 θ_A 和 θ_C (绕轴顺时针方向旋转为正)。此时，在 PCS 系中刀位点的位置矢量 $\vec{r}_v = [x_v, y_v, z_v]^T$ 和刀轴单位矢量 $\vec{T}_v = [0, 0, 1]^T$ 。

2.2 机床空间运动坐标系齐次坐标变换

五轴定轴加工需要利用 CAM 软件生成刀位数据，刀位轨迹计算统一在 PCS 系中进行，而不考虑具体机床结构及数控系统，然后再根据具体的机

床结构及数控系统，通过后置处理将前置处理得到的 PCS 系下的刀位数据转化为 WCS 系下 X 、 Y 、 Z 轴的平移及 A 、 C 轴的旋转。后置处理的关键技术就是根据机床运动链(如图 3 所示)进行机床空间运动坐标系齐次坐标变换。

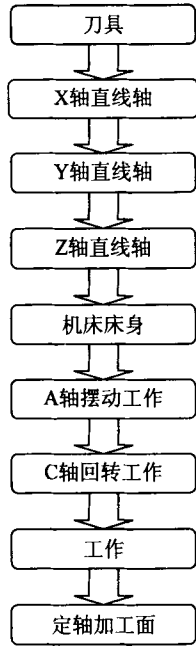


图 3 双转台机床运动链

(1) 从 TCS 系到 RCS 系做齐次坐标变换

对刀后，TCS 系与 WCS 系原点重合，刀具主轴相对于 RCS 系的位置矢量 $\vec{r}_p = [0, 0, n]^T$ 。加工任一时刻，机床三个直线轴做 X 、 Y 、 Z 轴平移，相对于 RCS 系的位置矢量 $\vec{r}_q = [x_q, y_q, z_q]^T$ 。记从 TCS 系到 RCS 系的齐次坐标变换矩阵为 $H(TCS \rightarrow RCS)$ ，如(2)式所示。

$$H(TCS \rightarrow RCS) = Trans(r_q - r_p) Trans(0, 0, n) \quad (2)$$

$$其中, Trans(r_q - r_p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_q \\ 0 & 1 & 0 & y_q \\ 0 & 0 & 1 & z_q - n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$Trans(0, 0, n) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

(2) RCS 系到 SPCS 系做齐次坐标变换

RCS 系始终固定不动，而 SPCS 系与 RCS 系重合，所以此时从 RCS 系到 SPCS 系的齐次坐标变换矩阵 $H(RCS \rightarrow SPCS)$ 为单位矩阵，如式(3)式所示。

$$H(RCS \rightarrow SPCS) = I_{4 \times 4} \quad (3)$$

$$其中, I_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

(3) 从 SPCS 系到 RPCS 系做齐次坐标变换

RPCS 系原点 O_p 相对于 SPCS 系的位置矢量 $\vec{r}_1 = [0, 0, -m]^T$ 。RPCS 系随摆动台摆动，则 RPCS 系统 SPCS 系 X_{sp} 轴旋转 θ_A 。从 SPCS 系到 RPCS 系的齐次坐标变换矩阵为 $H(SPCS \rightarrow RPCS)$ ，如式(4)所示。

$$H(SPCS \rightarrow RPCS) = Rot(X_{sp}, \theta_A) Trans(0, 0, -m) \quad (4)$$

$$其中, Rot(X_{sp}, \theta_A) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_A & -\sin\theta_A & 0 \\ 0 & \sin\theta_A & \cos\theta_A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$Trans(0, 0, -m) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

(4) 从 RPCS 系到 WCS 系做齐次坐标变换

工件和 WCS 系随转动台绕轴转动，则 WCS 系统 RPCS 系 Z_p 轴旋转 θ_c 。从 RPCS 系到 WCS 系的齐次坐标变换矩阵为 $H(RPCS \rightarrow WCS)$ ，如式(5)所示。

$$H(RPCS \rightarrow WCS) = Rot(Z_p, \theta_c) \quad (5)$$

$$其中, Rot(Z_p, \theta_c) = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & -\sin\theta_c & 0 & 0 \\ \sin\theta_c & \cos\theta_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

(5) 从 TCS 系到 PCS 系做齐次坐标变换

根据组合变换原理，综合以上(1)~(5)式可得：从 TCS 系到 PCS 系的齐次坐标变换矩阵为 $H(TCS \rightarrow PCS)$ ，如式(6)所示。

$$H(TCS \rightarrow PCS) = H(WCS \rightarrow PCS) H(RPCS \rightarrow WCS) H(SPCS \rightarrow RPCS) H(RCS \rightarrow SPCS) H(TCS \rightarrow RCS) = Rot(Z, \gamma) Rot(Y, \beta) Rot(X, \alpha) Trans(x'_w, y'_w, z'_w) Rot(Z_p, \theta_c) Rot(X_{sp}, \theta_A) Trans(0, 0, -m) I_{4 \times 4} Trans(r_q - r_p) Trans(0, 0, n) \quad (6)$$

2.3 机床运动坐标求解

根据式(6)中的从 TCS 系到 PCS 系的齐次坐标变换矩阵，PCS 系下刀位点的位置矢量 $\vec{r}_v$ 和刀轴单位矢量 $\vec{T}_v$ 可分别由以下两式得到。

$$[x_v \ y_v \ z_v \ 1]^T = H(TCS \rightarrow PCS) [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \quad (7)$$

$$[0 \ 0 \ 1 \ 0]^T = H(TCS \rightarrow PCS) [0 \ 0 \ 1 \ 0]^T \quad (8)$$

由(7)式可得：

$$\begin{cases} e_1 \sin \theta_C \sin \theta_A + f_1 \cos \theta_C \sin \theta_A + g_1 \cos \theta_A = 0 \\ e_2 \sin \theta_C \sin \theta_A + f_2 \cos \theta_C \sin \theta_A + g_2 \cos \theta_A = 0 \\ e_3 \sin \theta_C \sin \theta_A + f_3 \cos \theta_C \sin \theta_A + g_3 \cos \theta_A = 1 \end{cases} \quad (9)$$

采用克莱姆法则, 由(9)式可得:

$$\begin{cases} \sin \theta_C \sin \theta_A = \begin{vmatrix} 0 & f_1 & g_1 \\ 0 & f_2 & g_2 \\ 1 & f_3 & g_3 \end{vmatrix} / \begin{vmatrix} e_1 & f_1 & g_1 \\ e_2 & f_2 & g_2 \\ e_3 & f_3 & g_3 \end{vmatrix} \\ \cos \theta_C \sin \theta_A = \begin{vmatrix} e_1 & 0 & g_1 \\ e_2 & 0 & g_2 \\ e_3 & 1 & g_3 \end{vmatrix} / \begin{vmatrix} e_1 & f_1 & g_1 \\ e_2 & f_2 & g_2 \\ e_3 & f_3 & g_3 \end{vmatrix} \\ \cos \theta_A = \begin{vmatrix} e_1 & f_1 & 0 \\ e_2 & f_2 & 0 \\ e_3 & f_3 & 1 \end{vmatrix} / \begin{vmatrix} e_1 & f_1 & g_1 \\ e_2 & f_2 & g_2 \\ e_3 & f_3 & g_3 \end{vmatrix} \end{cases} \quad (10)$$

由(10)式可得 A、C 轴的旋转角度:

当 $k=1$ 时, $\theta_A = \theta_C = 0^\circ$

当 $k \neq 1$ 时, $\theta_A = \arccos k \quad -100^\circ \leq \theta_A \leq 120^\circ$

$$\theta_C = \arcsin \frac{t}{\sqrt{1-k^2}} \quad -360^\circ \leq \theta_C \leq 360^\circ$$

$$\text{其中, } k = \frac{\begin{vmatrix} e_1 & f_1 & 0 \\ e_2 & f_2 & 0 \\ e_3 & f_3 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} e_1 & f_1 & g_1 \\ e_2 & f_2 & g_2 \\ e_3 & f_3 & g_3 \end{vmatrix}},$$

$$t = \frac{\begin{vmatrix} 0 & f_1 & g_1 \\ 0 & f_2 & g_2 \\ 1 & f_3 & g_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} e_1 & f_1 & g_1 \\ e_2 & f_2 & g_2 \\ e_3 & f_3 & g_3 \end{vmatrix}},$$

$$\text{其中, } \begin{cases} a_1 = \cos \gamma \cos \beta \cos \theta_C - \sin \gamma \cos \alpha \sin \theta_C + \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha \sin \theta_C \\ a_2 = \sin \gamma \cos \beta \cos \theta_C + \cos \gamma \cos \alpha \sin \theta_C + \sin \gamma \sin \beta \sin \alpha \sin \theta_C \\ a_3 = -\sin \beta \cos \theta_C + \cos \beta \sin \alpha \sin \theta_C \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_1 = -\cos \gamma \cos \beta \sin \theta_C \cos \theta_A - \sin \gamma \cos \alpha \cos \theta_C \cos \theta_A + \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha \cos \theta_C \cos \theta_A + \sin \gamma \sin \alpha \sin \theta_A + \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha \sin \theta_A \\ b_2 = -\sin \gamma \cos \beta \sin \theta_C \cos \theta_A + \cos \gamma \cos \alpha \cos \theta_C \cos \theta_A + \sin \gamma \sin \beta \sin \alpha \cos \theta_C \cos \theta_A - \cos \gamma \sin \alpha \sin \theta_A + \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha \sin \theta_A \\ b_3 = \sin \beta \sin \theta_C \cos \theta_A + \cos \beta \cos \alpha \sin \theta_C \cos \theta_A + \cos \beta \sin \theta_C \\ c_1 = \cos \gamma \cos \beta \sin \theta_C \sin \theta_A + \sin \gamma \cos \alpha \cos \theta_C \sin \theta_A - \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha \cos \theta_C \sin \theta_A + \sin \gamma \sin \alpha \cos \theta_A + \cos \gamma \sin \beta \cos \alpha \cos \theta_A \\ c_2 = \sin \gamma \cos \beta \sin \theta_C \sin \theta_A - \cos \gamma \cos \alpha \cos \theta_C \sin \theta_A - \sin \gamma \sin \beta \sin \alpha \cos \theta_C \sin \theta_A - \cos \gamma \sin \alpha \cos \theta_A + \sin \gamma \sin \beta \sin \alpha \cos \theta_A \\ c_3 = -\sin \beta \sin \theta_C \sin \theta_A - \cos \beta \sin \alpha \cos \theta_C \sin \theta_A + \cos \beta \cos \alpha \cos \theta_A \\ d_1 = \cos \gamma \cos \beta x_w' + (-\sin \gamma \cos \alpha + \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha) y_w' + (\sin \gamma \sin \alpha + \cos \gamma \sin \beta \cos \alpha) z_w' \\ d_2 = \sin \gamma \cos \beta x_w' + (\cos \gamma \sin \alpha + \sin \gamma \sin \beta \sin \alpha) y_w' + (-\cos \gamma \sin \alpha + \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha) z_w' \\ d_3 = -\sin \beta x_w' + \cos \beta \sin \alpha y_w' + \cos \beta \cos \alpha z_w' \end{cases}$$

3 加工实例

基于以上双转台五轴数控机床定轴运动学研究, 在 Mikron UCP800 Duro 五轴数控机床上对 NR15R 增压器整体叶轮流道进行实际加工。该叶轮共有九个流道, 选取其中一个流道建立 PCS 系, 将 WCS 系原点设在沿 RCS 系 +Z_r 轴 252.05 mm 处, 再将 WCS 系原点沿 -Z 轴平移 92.05 mm, 绕 Y 轴旋转 90°, 得到 PCS 系。利用 CAM 软件生成刀位数据, 再由 (10)~(15) 式得到机床运动坐标。按照得到的机床运动坐标, 采用 $\phi 8$ 立铣刀和 $\phi 4$ 球头锥形刀依次对流道进行铣削。其它八个流道依次定义各自的 PCS 系后, 按照同样的方法进行铣削, 加工后的叶轮流道如图 4 所示。

(下转第 56 页)

应力作为应力谱,结合 S-N 方法与 Goodman 平均应力修正,得到额定转速 $1\,000\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1})$ 工况下连杆的疲劳寿命云图(图 6)。从计算结果来看,有限寿命点集中在螺栓孔与啮合齿的交汇处,尤其是齿根处,其中连杆体短臂和连杆盖局部为最低寿命点。计算得到的最短初始裂纹萌生时间为 6 个月,如图 6 所示。通过与图 5 对比可以看出,低寿命点与预紧工况下的危险点分布基本一致,真实裂纹也在这些区域内出现,可见由于原始的设计问题这些点存在应力集中,这是导致最终失效的重要原因。

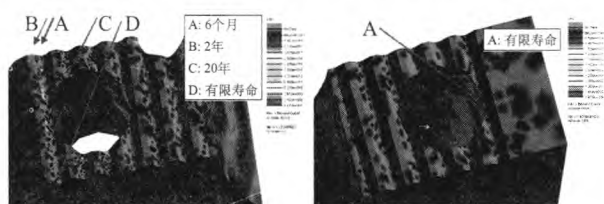


图 6 连杆体短臂与连杆盖疲劳寿命云图

6 结论与建议

结论:

(1) 连杆失效属疲劳断裂。齿形表面的机加工痕迹和齿面摩擦等原始损伤是产生裂纹的疲劳源。

(2) 除存在少量偏析和一定量块状铁素体外,连杆材质无明显缺陷。其力学性能接近但低于与之成分近似的国产 35CrMo, Mn 含量偏高导致晶沿脆性的存在,对裂纹的扩展起到了促进作用。

(3) 在啮合齿部位,尤其齿形与螺栓孔的交汇处存在较为明显的应力集中,在预紧工况下某些危

险点最大应力值已接近材料的抗拉强度,这些应力集中点的存在是断裂失效的主要因素。

建议:

(1) 装配时严格按照厂家规定进行预紧,精确控制预紧力,谨防预紧力过大造成齿形损伤。

(2) PA5 型柴油机自二十世纪七八十年代投产以来,从未改型,可建议生产厂家改用更加优质的材料或优化设计,如减小连杆体长臂与连杆盖之间的平台部分长度,通过增加一对啮合齿以达到降低接触应力的目的。

参考文献

- [1] 亨利·G,豪斯特曼·D. 宏观断口学及显微断口学[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [2] 崔忠圻,谭耀春. 金属学与热处理[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 曲佳东,郑智治. 240/275 柴油机连杆大端的受力分析及改进[J]. 铁道机车车辆,1999,(2):27-29.
- [4] 杨明富. 用伸长量法确定活塞空压机连杆螺栓与尽量离[J]. 有色设备,2004(1):8-11.
- [5] 李人宪. 有限元法基础[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [6] 朱访君,吴坚. 内燃机工作过程数值计算及其优化[M]. 北京:国防工业出版社,1997.
- [7] 苏铁熊,吕彩琴,张翼,等. 接触问题对连杆有限元分析的影响[J]. 内燃机学报,2002,20(1):79-83.
- [8] 李春玲. 发动机连杆疲劳强度有限元分析[J]. 柴油机设计与制造,2007(2):9-11.
- [9] 张国庆,黄伯超,浦耿强,等. 基于动力学仿真和有限元分析的曲轴疲劳寿命计算[J]. 内燃机工程,2006,27(1):41-44.

(上接第 44 页)

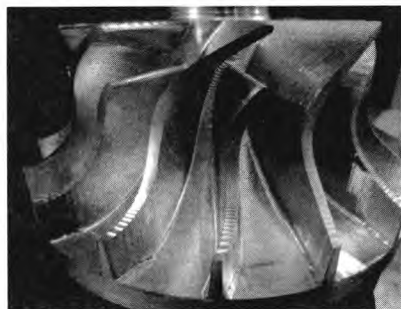


图 4 叶轮流道粗加工后的叶轮

由图 4 可以看到流道表面余量比较均匀,为下一步叶片精加工和流道精加工打下了较好基础。同时这种定轴叶轮流道粗加工方法相比于五轴联动加工法,效率提高了 20%。

4 结论

利用齐次坐标变换,建立机床空间运动坐标系

之间的关系,再由逆运算得到双转台机床运动坐标;通过实际加工增压器叶轮流道,验证了机床定轴运动学研究是有效的。由于齐次坐标变换的通用性,该研究方法不只适用于本文中双转台五轴数控机床,还可以推广到其他类型五轴数控机床(如双摆头式、摆头转台式)定轴加工中。

参考文献

- [1] 林浒,卜霄菲,郑颀默,等. 五轴数控 $3\frac{1}{2}\frac{1}{2}$ 轴倾斜面加工算法[J]. 小型微型计算机系统,2011(4):763-766.
- [2] 陈良骥. 五轴联动刀具路径生成及插补技术研究[M]. 北京:知识产权出版社,2007.
- [3] 朱克忆. Power MILL 多轴数控加工编程实用教程[M]. 北京:机械工业出版社,2010.